



APLICAÇÃO DA *BLOCKCHAIN* E *IoT* NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS: UM ESTUDO DE CASO SOBRE RASTREABILIDADE

APPLICATION OF *BLOCKCHAIN* AND *IoT* IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: A CASE STUDY ON TRACEABILITY

Fernando Rodrigo Souza*  E-mail: fernandorodrigosouza4@gmail.com

*Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (Fatec SO), Sorocaba, SP, Brasil.

Resumo: O artigo abordou a aplicação da tecnologia *Blockchain* e da Internet das Coisas (*IoT*) em *startups* voltadas para a gestão de resíduos e reciclagem, com foco na melhoria da rastreabilidade na cadeia de suprimentos. O objetivo central da pesquisa foi analisar como essas tecnologias puderam aprimorar a rastreabilidade e as operações das *startups*, considerando tanto seus benefícios quanto os desafios inerentes à sua implementação. Para atingir esse objetivo, o estudo adotou uma abordagem qualitativa e realizou um estudo de caso envolvendo oito *startups* selecionadas. As empresas buscavam aumentar as taxas de reciclagem de embalagens, adotando práticas sustentáveis, remuneração justa dos coletores e treinamento adequado. Além disso, praticavam a mineração urbana verde, coletando resíduos pós-consumo em ambientes urbanos. A pesquisa revelou que a combinação da *Blockchain* e da *IoT* permitiu rastrear os resíduos em tempo real, desde a origem até a destinação final, garantindo confiabilidade, segurança e transparência nas operações. A integração dessas tecnologias também possibilitou a geração de certificados e documentações usando *Tokens Não Fungíveis (NFTs)* na logística reversa. Os desafios incluíram a falta de conhecimento e a integração com *stakeholders*, além de restrições em servidores de clientes para a implementação de *Smart Contracts*. O estudo destacou a eficácia da *Blockchain* e da *IoT* na melhoria da rastreabilidade e enfatizou os benefícios, como maior transparência e confiabilidade, na gestão da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: *Blockchain*. *IoT*. Rastreabilidade.

Abstract: The article looks at the application of Blockchain technology and the Internet of Things (IoT) in waste management and recycling startups, with a focus on improving traceability in the supply chain. The central objective of the research was to analyze how these technologies could improve traceability and the operations of startups, considering both their benefits and the challenges inherent in their implementation. To achieve this objective, the study adopted a qualitative approach and carried out a case study involving eight selected startups. The companies sought to increase packaging recycling rates by adopting sustainable practices, fair pay for collectors and adequate training. In addition, they practiced green urban mining, collecting post-consumer waste in urban environments. The research revealed that the combination of Blockchain and IoT made it possible to track waste in real time, from its origin to its final destination, guaranteeing reliability, security and transparency in operations. The integration of these technologies also made it possible to generate certificates and documentation using Non-Fungible Tokens (NFTs) in reverse logistics. Challenges included lack of knowledge and integration with stakeholders, as well as restrictions on client servers for the implementation of Smart Contracts. The study highlighted the effectiveness of Blockchain and IoT in improving traceability and emphasized the benefits, such as greater transparency and reliability.

Keywords: Blockchain. IoT. Traceability.

1 INTRODUÇÃO

A gestão da cadeia de suprimentos tem assumido um papel de extrema importância no contexto organizacional, desempenhando um papel estratégico fundamental para atender às crescentes expectativas dos consumidores. Ela se tornou essencial para promover agilidade e flexibilidade em todos os processos envolvidos (Chang, 2017). No cenário atual, a gestão da cadeia de suprimentos está passando por uma evolução dinâmica que impacta tanto a economia quanto as próprias organizações.

Contudo, essa evolução não ocorre sem desafios significativos. A cadeia de suprimentos enfrenta questões que vão desde problemas de confiança e segurança até desafios relacionados à confiabilidade de dados, interoperabilidade e infraestrutura deficiente (Abeyratne; Monfared, 2016). A superação desses obstáculos e a obtenção de resultados satisfatórios têm exigido a incorporação de novas tecnologias em todos os processos operacionais.

Diante da globalização e da busca incessante por vantagens competitivas, as empresas têm direcionado seus esforços para a adoção de inovações tecnológicas em todas as áreas, incluindo a gestão da cadeia de suprimentos (Cruz, 2019). A tecnologia da informação desempenha um papel fundamental nesse contexto, uma vez que a gestão eficaz das informações se tornou uma necessidade premente.

Nesse contexto, a tecnologia *Blockchain* surgiu como uma promissora inovação, apresentando potencial para revolucionar a Internet das Coisas (*IoT*) e aprimorar a eficiência em toda a cadeia de suprimentos (Abeyratne; Monfared, 2016). A combinação da *Blockchain* com a *IoT* oferece benefícios notáveis em termos de segurança, privacidade, rastreabilidade e confiabilidade (Abed *et al.*, 2021).

A *Blockchain* é elogiada por sua capacidade de assegurar a integridade e imutabilidade dos dados, criando registros permanentes e à prova de violações (Rejeb *et al.*, 2019). Sua aplicação na gestão da cadeia de suprimentos tem o potencial de aprimorar significativamente todos os processos, reduzindo a necessidade de intermediários, garantindo a segurança nas transações e, principalmente, elevando os níveis de rastreabilidade (Kamble *et al.*, 2019).

No entanto, a globalização também trouxe consigo desafios significativos para as empresas, com a gestão da cadeia de suprimentos destacando-se como uma das áreas mais impactadas (Capgemini Consulting, 2017). Questões relacionadas à rastreabilidade, falta de confiança e capacidade de resposta continuam a ser obstáculos à consecução da eficiência desejada. Isso ressalta a importância crucial da aplicação de tecnologias como a *Blockchain*.

O presente estudo tem como objetivo principal investigar de que forma a tecnologia *Blockchain* está sendo implementada na gestão da cadeia de suprimentos, com um foco particular na melhoria da rastreabilidade. Para atingir esse propósito, o estudo se desdobrará nas seguintes etapas:

Realizar uma revisão completa da literatura relacionada à *Blockchain* e sua integração com a *IoT*, explorando suas diversas aplicações na gestão da cadeia de suprimentos, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade.

Analisar os desafios que as empresas enfrentam ao lidar com a infraestrutura, investimentos e adoção prática da tecnologia *Blockchain* na gestão da cadeia de suprimentos.

Apresentar, por meio de um estudo de caso, os desafios reais e as oportunidades inerentes à implementação da tecnologia *Blockchain* para aprimorar a rastreabilidade na gestão da cadeia de suprimentos.

Este estudo busca contribuir significativamente para a compreensão abrangente dos benefícios e obstáculos relacionados à aplicação da tecnologia *Blockchain* na gestão da cadeia de suprimentos, com um enfoque específico na rastreabilidade. Isso permitirá que as organizações tomem decisões mais embasadas quando considerarem a adoção dessa tecnologia inovadora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Blockchain* e *Bitcoin*: Fundamentos e Perspectivas

A criptomoeda *Bitcoin* surgiu em 2008, com a autoria atribuída ao pseudônimo Satoshi Nakamoto, marcando o pioneirismo das moedas digitais descentralizadas, que operam sem necessidade de centralização de dados. A maior característica da *Bitcoin* foi a eliminação de intermediários, preservando a integridade das informações, um avanço que se encaixou perfeitamente no crescente fenômeno das

Fintechs em todo o mundo. *Startups* financeiras passaram a comprar e vender criptomoedas, notadamente o *Bitcoin*, à medida que a estabilidade dessas moedas aumentava e ganhava a confiança de investidores e consumidores.

Nos bastidores da *Bitcoin* encontra-se a tecnologia *Blockchain*, que pode ser ilustrada como um livro-razão indestrutível, onde as informações são imutáveis. O "banco de dados" do *Blockchain* é unidirecional, vinculando cada registro ao anterior e ao seguinte, sem possibilidade de edição. Esses registros são mantidos online, assinados com data e hora, e criptografados, garantindo a imutabilidade dos dados. Além disso, o *Blockchain* oferece contratos inteligentes, programas que executam automaticamente solicitações conforme programado. Sua natureza distribuída elimina a necessidade de um banco de dados central para armazenar informações, tornando-as acessíveis aos usuários (Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022).

A estrutura do *Blockchain* armazena dados de transações em blocos interligados, criando uma cadeia. Ele utiliza a arquitetura de redes *Peer-to-Peer* (P2P), na qual cada usuário é um nó, colaborando igualmente na rede. A privacidade e criptografia das informações na *Blockchain* impossibilitam o rastreamento de sua origem, permitindo apenas a verificação de sua validade. Essa descentralização elimina um ponto único de falha, uma vez que as informações são redundantes (Lima *et al.*, 2018, Azim *et al.*, 2022).

Apesar das vantagens, o *Blockchain* enfrenta desafios. A tecnologia está em constante evolução, com a maioria das soluções em estágio prototípico ou de desenvolvimento. No entanto, há um crescente interesse da comunidade acadêmica, que busca explorar o potencial do *Blockchain* em vários contextos, como Educação, Finanças, Saúde e Comércio. No setor educacional, por exemplo, pesquisadores investigam a autenticação e transmissão de informações acadêmicas através do *Blockchain*. Universidades também estão considerando o uso do *Blockchain* para gerenciar certificados de alunos, mas enfrentam o desafio de proteger seu papel tradicional na concessão de diplomas. O *Blockchain* revolucionou as transações financeiras ao eliminar intermediários. A tecnologia trouxe segurança, descentralização, integridade de dados e imutabilidade de transações, rompendo com o modelo tradicional de bancos centralizados. No entanto, ainda precisa superar desafios de escalabilidade e regulamentação para alcançar seu potencial

máximo (Morris, 2018; Oliveira; Freitas, 2020; Paiva Gomes, Paiva Gomes; Conrado, 2022).

Além disso, o *Blockchain* também está sendo explorado em outras áreas. Por exemplo, no campo da saúde, o uso de registros médicos eletrônicos baseados em *Blockchain* promete garantir a integridade e a privacidade das informações do paciente. No comércio, a tecnologia *Blockchain* está sendo aplicada para melhorar a rastreabilidade e autenticidade de produtos, combatendo fraudes e falsificações (Ito *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2018; Mozumder *et al.*, 2022; Rahman, 2022; Melotti *et al.*, 2023; Oliveira Lima Nyland, Silveira Badejo; Faria Corrêa, 2023).

As implicações do *Blockchain* vão além das transações financeiras. A tecnologia promete transformar a maneira como lidamos com dados, confiança e autenticidade em uma variedade de setores. À medida que mais pesquisas e desenvolvimentos ocorrem, é crucial continuar acompanhando o progresso do *Blockchain* e suas implicações para a sociedade (Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022).

2.2 A Versatilidade e Desafios do *Blockchain* em Diferentes Setores

A aplicação do *Blockchain* transcendeu seu papel inicial como uma infraestrutura de criptomoedas e tem se mostrado uma solução versátil em várias áreas. Além de suas raízes nas transações de criptomoedas, o *Blockchain* tem encontrado aplicação na descentralização de bancos de dados, garantia de segurança em informações sensíveis e, mais recentemente, automação de dispositivos na Internet das Coisas (*IoT*). O potencial do *Blockchain* se estende além dessas áreas e alcança setores administrativos, de saúde e governamentais (Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022).

No contexto administrativo, o *Blockchain* demonstra seu valor por meio da facilitação de transações, fiscalização e registros seguros, garantindo a integridade dos dados. Esse aspecto se torna crucial, pois a confiabilidade dos registros é essencial para operações eficazes e livres de fraudes (João, 2018).

Na área de saúde, a segurança e a integridade dos registros médicos são fundamentais para garantir o bem-estar dos pacientes e a conformidade regulatória. O *Blockchain* tem se mostrado uma solução promissora para proteger registros

médicos e garantir o acesso somente a profissionais autorizados, ao mesmo tempo em que permite o compartilhamento eficiente de informações médicas entre provedores de saúde (Swan, 2015; João, 2018; Rahman *et al.*, 2022).

O setor governamental também adotou o *Blockchain*, com um exemplo notável no Brasil, onde a Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social (DATAPREV) desenvolveu o serviço b-CPF, baseado em *Blockchain* e associado ao Cadastro de Pessoa Física (CPF). Esse sistema visa simplificar o processo de disponibilização da base de dados do CPF através de mecanismos seguros, integrados e eficientes (Burite; Sacramento; Raupp, 2023).

Ao longo do tempo, novas possibilidades de aplicação do *Blockchain* foram constatadas, para além da área de finanças, paralelo com a evolução da tecnologia. Nessa perspectiva, divide a evolução do *Blockchain* em três fases. A fase *Blockchain* 1.0 compreende a etapa da sua criação como tecnologia facilitadora das transações de *Bitcoins*, onde o uso da tecnologia era feito apenas de forma comercial (Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022). Já a fase *Blockchain* 2.0, teve início por volta de 2013 com a apresentação do projeto *Ethereum* pelo programador russo Vitalik Buterin, cujo objetivo era a otimização do sistema usado pelo *Bitcoin*. O advento do *Ethereum* gerou uma evolução dos modelos de *Blockchain* (Pancari *et al.*, 2023; De Vries, 2023).

Na fase *Blockchain* 3.0, a tecnologia passou a ser utilizada nos mais diversos setores, tais como desenvolvimento de aplicativos, gerenciamento de cadeias de suprimento, gerenciamento de sistemas de saúde e, até mesmo, a própria gestão pública (Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022). Dessa forma, qualquer coisa de valor, seja ela tangível, como um carro, ou intangível, como uma patente, pode ser negociada e rastreada em uma rede *Blockchain*, o que reduz os riscos e os custos para as partes interessadas (Mozumder *et al.*, 2022).

Assim, pode-se afirmar que as vantagens geradas pela tecnologia nas suas diferentes áreas de aplicação são otimistas, ainda que a tecnologia apresente algumas desvantagens, como visto nos casos apresentados nesta investigação e que necessitam de maior aprofundamento, consoante suas particularidades.

As aplicações de *Blockchain* na Indústria 4.0 podem ser divididas em três vertentes principais (Huo *et al.*, 2022): Gerenciamento e segurança de dispositivos:

são aplicações que usam *Blockchain* para cadastro e autenticação de dispositivos, unificando o padrão de gerenciamento mesmo com a heterogeneidade de dispositivos *IoT* e explorando as vantagens oferecidas pela descentralização.

Armazenamento e compartilhamento de dados: usam *Blockchain* para criar uma camada de controle de acesso aos dados que promove mais privacidade e facilita o gerenciamento e compartilhamento de informações dentro de uma organização ou em um contexto mais amplo, envolvendo múltiplas organizações (Almada; Costa, 2023).

Aplicações Industriais: adaptam as soluções e aplicam a um caso de uso real, usando *Blockchain* para rastrear matéria-prima, produtos e operações industriais através do conceito de *tokenização*, regulam trocas energéticas ou o processo de Aprendizado de Máquina distribuído, entre outras aplicações Paiva Gomes; Paiva Gomes; Conrado, 2022; Engelmann; Cantali; Simões, 2023).

A seguir são apresentados os principais e mais recentes avanços em aplicações nessas três áreas.

2.2.1 Gerenciamento e segurança de dispositivos

De maneira geral, redes *IoT* devem adotar sistemas para gerenciamento e autenticação dos dispositivos da rede. Os principais desafios enfrentados por tais sistemas estão relacionados à proteção das chaves criptográficas, a privacidade dos dados e a rastreabilidade da atividade dos dispositivos na rede, além da detecção automática de falhas e ataques que devem desencadear medidas que visam mitigar possíveis danos. Além disso, redes *IoT* muitas vezes são heterogêneas e os sistemas de gerenciamento devem fornecer um certo nível de padronização no cadastro e gerenciamento desses dispositivos (Wang *et al.*, 2021).

De forma geral, *Blockchain* pode fornecer uma estrutura segura que oferece imutabilidade, não repúdio, que facilita a detecção de anomalias e com suporte para redes heterogêneas para registrar informações que, em conjunto com outras técnicas criptográficas, pode oferecer a privacidade e confidencialidade necessárias para tais sistemas. Além disso, tarefas rotineiras e o registro de atividades podem ser automatizadas através de *Smart Contracts*.

Wang *et al.* (2021) propõem um sistema baseado em *Blockchain* e *Smart Contracts* para autenticação de dispositivos *IoT* sem Certificado Digital. O esquema descentraliza o processo de geração de chaves, considerado um risco de segurança em outros sistemas de autenticação similares, tornando a rede mais resistente a ataques como *Man-in-the-Middle (MitM)*.

Latif *et al.* (2021) demonstram o uso de *Blockchain* em uma planta de processamento de frutas, usando *Blockchain* privado e *Smart Contracts* para criar uma camada de registro e autenticação de usuários e dispositivos *IoT*, além de transmitir comandos aos atuadores e armazenar dados da operação.

Liu *et al.* (2021) propõem um protocolo AGKA (*Assimetric Group Key Agreement*) para lidar com a segurança das chaves criptográficas usando *Blockchain*, o que garante a automação do controle de acesso usando *Smart Contracts*, além das características de imutabilidade e não repúdio do *Blockchain*.

2.2.2 Gerenciamento e segurança de dispositivos

Em aplicações *IoT* é comum haver um grande volume de dados que devem ser armazenados e compartilhados com terceiros de maneira segura. O sistema ideal para compartilhamento deve ter uma certa granularidade de permissões para possibilitar compartilhamento somente aos dados necessários e nenhum outro, além de oferecer rastreabilidade dos acessos realizados e a facilidade de gerenciar e revogar os acessos quando necessário (Gai *et al.*, 2020).

Blockchain pode ser usado para se criar uma camada intermediária entre os dados e os usuários, verificando permissões e registrando todos os acessos realizados de maneira transparente e rastreável. A descentralização da solução facilita a criação de cenários colaborativos entre organizações que desejam compartilhar dados de maneira segura e controlada.

Gai *et al.* (2020) propõem uma combinação de *Blockchain* e *Edge Computing*, usando técnicas de Privacidade Diferencial para garantir a privacidade de dados sobre alocação de tarefas. O sistema garante eficiência energética, segurança e governança dos dados privados dos usuários.

Tian *et al.* (2021) propõem o *BML-ES*, um *framework* para uso de *Machine Learning (ML)* em *IoT* baseado em *Blockchain*. Baseado no conceito de *Federated*

Learning, o framework propõe uma estratégia para agregar os modelos de *ML* locais para obtenção de um modelo global, bem como o uso de *Smart Contracts* como mecanismo de incentivo para a participação dos nós na rede.

Rahman *et al.* (2021) desenvolvem um sistema *Blockchain* com armazenamento híbrido *on-chain* e *off-chain* na nuvem para eficiência em dispositivos *IoT*, além de um método criptográfico para preservar a privacidade dos dados armazenados ao mesmo tempo que permite o compartilhamento e a rapidez nas consultas aos dados.

Qi *et al.* (2020) propõem o *Cpds*, um sistema voltado para armazenamento eficiente e compartilhamento de dados descentralizado e unificado para *IoT*. Baseado em *Blockchain*, o sistema permite que múltiplas organizações gerenciem acesso e compartilhem dados de maneira segura, ao mesmo tempo que garante a eficiência de armazenamento usando técnicas de compressão de dados.

Gao *et al.* (2020) consideram os riscos de segurança e privacidade em *Pervasive Edge Computing (PEC)* e *Software-Defined Networks (SDN)*, dois paradigmas emergentes em *IoT*, e propõe o uso de *Blockchain* e *Proxy Reencryption* para permitir o compartilhamento seguro de dados entre dispositivos, bem como reduzir riscos de segurança provenientes da arquitetura centralizada. *Smart Contracts* também são usados para busca e atualização de registros em *Blockchain*.

Yu *et al.* (2021) desenvolvem um sistema para compartilhamento de *Smart Factory Big Data (SFBD)* com parceiros comerciais baseado em *Blockchain*. O sistema realiza registro e autenticação de dispositivos e usuários, registrando acessos realizados e sendo capaz de detectar e rastrear anomalias e acessos não autorizados, revogando automaticamente o acesso.

Lu *et al.* (2021) propõem um protocolo baseado em *Blockchain* para compartilhamento de dados de sensores *IoT* armazenados em nuvem. Um novo esquema de assinatura em grupo é desenvolvido e combinado com *Smart Contracts* e *Proxy Reencryption* para garantir privacidade, segurança e eficiência.

2.2.3 Aplicações Industriais

A Indústria 4.0 engloba uma série de setores que podem se beneficiar do uso de *Blockchain*, como a manufatura, a gestão da cadeia de suprimentos, saúde,

energia, veículos autônomos, entre outros. A seguir estão descritos algumas das principais e mais recentes pesquisas nas áreas da indústria cuja aplicação de *Blockchain* é mais proeminente (Mozumder *et al.*, 2022).

2.2.4 Smart Grid

Um novo termo derivado da Indústria 4.0 e que abarca uma série de tecnologias emergentes é *Smart Grid*, relacionada com o uso de *IoT* no setor de energia e que permite um maior controle e rastreabilidade sobre consumo e produção energética. *Blockchain* é encarado como uma tecnologia promissora para possibilitar trocas energéticas mais seguras e eficientes, de maneira descentralizada e independente (Li *et al.*, 2020).

Li *et al.* (2020) propõem um sistema para troca energética segura baseado em *Blockchain* de consórcio. Através do uso de *Smart Contracts*, o sistema garante o cumprimento do acordo entre as partes, automatizando a tarefa e eliminando riscos de transações fraudulentas, além de propor um esquema para determinação de preços de forma dinâmica.

Li *et al.* (2020) apresentam o *FeneChain*, um sistema baseado em *Blockchain* que supervisiona e gerencia o processo de troca energética, focado em segurança, privacidade e eficiência. No contexto da Indústria 4.0, o sistema garante a aquisição de energia rastreável e de maneira segura.

Guan *et al.* (2020) apresentam o *BC-ETS*, um sistema que visa melhorar a eficiência, segurança e escalabilidade de esquemas de troca energética tradicionais. Baseado em *Blockchain*, o sistema usa um esquema baseado em crédito para se adequar à capacidade computacional de dispositivos *IoT*.

2.2.5 Machine Learning

O volume de dados gerados em aplicações *IoT* é perfeito para treinar modelos de ML, que dependem desses dados. Um novo método de treinamento, conhecido como *Federated Learning* (FL) (Alagumalai *et al.*, 2023) permite que modelos de ML sejam treinados de maneira descentralizada, sem a necessidade de reunir os dados em um servidor, preservando a privacidade dos dados, promovendo mais eficiência nas comunicações da rede e reduzindo custos de armazenamento e

manutenção. Porém, *FL* ainda requer que o poder decisório seja concentrado em uma única parte, muitas vezes o servidor que coordena o treinamento, e é um processo manual que requer expertise técnica (Cai *et al.*, 2019).

Blockchain, ao adicionar transparência, rastreabilidade e imutabilidade às transações e operações, é encarado como uma tecnologia que pode melhorar o processo de treinamento *FL*, eliminando a necessidade de uma parte central de confiança (Zhang *et al.*, 2020), tornando o processo mais automatizado, seguro e acessível a organizações menores.

Cai *et al.* (2019) desenvolvem o primeiro *framework* para treinamento *FL* usando *Blockchain*, que permite que organizações independentes se conectem à rede de treinamento e inscrevam seus modelos de *ML*. O uso de *Blockchain* garante a transparência na operação do modelo, a rastreabilidade dos dados e transações, além de eliminar o risco de adulteração do modelo ou dos resultados.

Zhang *et al.* (2020) propõem uma abordagem semelhante, usando um *Blockchain* privado para garantir a privacidade dos dados durante o treinamento *FL*. Através do uso de *Smart Contracts*, o sistema automatiza a coordenação das partes envolvidas no treinamento, permitindo a colaboração segura e eficiente entre organizações.

2.2.6 Rastreabilidade e Autenticação

A rastreabilidade de produtos é uma questão crítica em diversas áreas da Indústria 4.0, como a manufatura, logística e saúde. A capacidade de rastrear a origem e o histórico de um produto é essencial para garantir a qualidade, a autenticidade e a conformidade com regulamentações (Aslam *et al.*, 2021).

Blockchain, com sua capacidade de criar registros imutáveis e rastreáveis, tem sido amplamente adotado como uma solução para a rastreabilidade de produtos. Através do uso de *Smart Contracts*, é possível automatizar a verificação de conformidade e autenticidade, reduzindo a dependência de auditorias manuais.

Aslam *et al.* (2021) propõem um sistema para rastreabilidade de produtos farmacêuticos baseado em *Blockchain*, que permite que os consumidores verifiquem a autenticidade dos produtos usando um aplicativo móvel. O sistema usa códigos

QR para associar produtos a registros em *Blockchain* e usa *Smart Contracts* para verificar a autenticidade e a conformidade.

Xu *et al.* (2020) apresentam um sistema de rastreabilidade de produtos baseado em *Blockchain* e Internet das Coisas (*IoT*) para a indústria de alimentos. O sistema usa sensores *IoT* para monitorar as condições de armazenamento dos produtos e registra as informações em *Blockchain* para garantir a qualidade e autenticidade dos produtos.

2.2.7 Gestão da Cadeia de Suprimentos

A gestão da cadeia de suprimentos é uma área em que *Blockchain* tem se destacado, proporcionando maior transparência, eficiência e segurança nas operações logísticas. A capacidade de rastrear produtos desde sua origem até o destino final é fundamental para otimizar a gestão da cadeia de suprimentos é um sistema de gestão da cadeia de suprimentos baseado em *Blockchain* para rastrear produtos farmacêuticos. O sistema usa *Smart Contracts* para automatizar a verificação de conformidade e autenticidade dos produtos, reduzindo a necessidade de auditorias manuais (Dewan *et al.*, 2020).

Li *et al.* (2021) desenvolvem um sistema de gestão da cadeia de suprimentos baseado em *Blockchain* e *IoT* para a indústria de alimentos. O sistema usa sensores *IoT* para monitorar as condições de transporte e armazenamento dos produtos e registra as informações em *Blockchain* para garantir a qualidade e autenticidade dos produtos.

O *Blockchain*, inicialmente conhecido por seu papel nas transações de criptomoedas, evoluiu consideravelmente e encontrou aplicações em diversas áreas, incluindo administração, saúde e governo. O setor industrial, em particular, tem se beneficiado significativamente da tecnologia *Blockchain*, à medida que abraça a Indústria 4.0. O uso de *Blockchain* na gestão de dispositivos, armazenamento e compartilhamento de dados e em aplicações industriais específicas, como *Smart Grid* e *Machine Learning*, tem impulsionado a eficiência, segurança e rastreabilidade em diversas operações (Kotsiopoulos *et al.*, 2021).

Com o avanço da tecnologia e o aprimoramento das aplicações de *Blockchain*, é possível que novos casos de uso e inovações surjam, transformando

ainda mais a maneira como a Indústria 4.0 opera e interage com o mundo digital. Portanto, o futuro promete uma integração ainda mais profunda do *Blockchain* na cadeia de suprimentos e na infraestrutura industrial, abrindo portas para uma era de eficiência, transparência e segurança aprimoradas (Mozumder *et al*, 2022).

No entanto, apesar de seus muitos benefícios, o *Blockchain* também enfrenta desafios, como escalabilidade, custos associados e questões regulatórias em constante evolução. Portanto, é importante que pesquisadores, empresas e governos continuem a explorar e desenvolver soluções baseadas em *Blockchain* que atendam às necessidades específicas de cada setor.

2.3 Blockchain nas Cadeias de Suprimentos

Para compreender a gestão de cadeias de suprimentos, é fundamental começar pelo entendimento da logística. De acordo com Cândido (2023), a logística é uma disciplina da administração responsável por fornecer os recursos e informações necessários para todas as atividades de uma organização. Ela abrange diversas áreas do conhecimento, como engenharia, economia, contabilidade, estatística, marketing, tecnologia e recursos humanos, tornando-se uma especialização abrangente dentro da administração.

A logística, por sua vez, pode ser subdividida em duas categorias de atividades: as principais, que envolvem o transporte, gestão de estoques e processamento de pedidos; e as secundárias, que incluem armazenamento, manuseio de materiais, embalagem de produtos, compras e gestão de sistemas de informação.

A noção de cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management - SCM*) surgiu na década de 1980 como uma resposta à necessidade de abordar atividades logísticas em uma economia globalizada e em constante transformação. Grant (2013) aponta que uma cadeia de suprimentos pode ser definida em diferentes níveis, o que demonstra a complexidade do seu escopo.

No contexto das cadeias de suprimentos, as iniciativas relacionadas ao uso de *Blockchain* podem ser categorizadas em duas grandes áreas, de acordo com a consultoria Forrester (2018): criação de novos negócios e modelos de serviços, e aprimoramento dos processos existentes. Melhorias nos fluxos de processos podem

resultar em ganhos de eficiência e na capacidade de alcançar "outros benefícios" quando todos os participantes de uma cadeia de suprimentos têm visibilidade por meio dessa tecnologia.

A consultoria *Accenture* (2018) corrobora essa visão, acrescentando que as aplicações básicas da tecnologia *Blockchain* nas cadeias de suprimentos podem proporcionar benefícios de eficiência operacional, além da oportunidade de reduzir substancialmente os custos. A mudança para uma *Blockchain* nas cadeias de suprimentos pode eliminar a necessidade de reconciliações desnecessárias, melhorar a comunicação e garantir a aplicação adequada dos padrões de contratos compartilhados, criando oportunidades significativas para os pioneiros na adoção dessa tecnologia.

No entanto, a consultoria *Capgemini* (2018) adverte que, embora o potencial de eficiência seja evidente, ainda há uma falta de casos práticos de aplicação da tecnologia *Blockchain* nas cadeias de suprimentos. Essa complexidade crescente das cadeias de suprimentos, que envolvem rastreabilidade, capacidade de resposta e questões de confiança, continua a ser um desafio significativo na busca por cadeias de suprimentos mais eficientes. Embora o *Blockchain* tenha o potencial de superar essas limitações, sua implementação em larga escala ainda é incipiente.

De acordo com a pesquisa da consultoria *Deloitte* (2018), cerca de 80% dos entrevistados de várias indústrias acreditam que podem perder vantagens competitivas se não adotarem a tecnologia *Blockchain*. No entanto, também há preocupações significativas em relação à implementação dessa tecnologia. Um terço dos entrevistados ainda considera incerto o Retorno sobre o Investimento (ROI) associado à adoção de *Blockchain*. *Deloitte* (2018) recomenda que as organizações tradicionais não se sintam pressionadas a adotar o *Blockchain* se ainda não identificaram um caso de uso específico.

É importante observar que a adoção de *Blockchain* nas indústrias de transformação não ocorrerá rapidamente. Apesar da promessa de transformação a longo prazo, há poucas evidências de mudanças substanciais no curto prazo. Portanto, como afirma a consultoria *Gartner Survey Reveals The Scarcity Of Current Blockchain Deployments* (2018), é essencial que as organizações adotem uma abordagem estratégica de longo prazo ao implementar projetos de *Blockchain*.

Devem identificar claramente os desafios em suas cadeias de suprimentos que desejam resolver, avaliar se o *Blockchain* é a melhor solução e identificar casos de uso específicos para experimentação antes de implementações em grande escala.

No entanto, vale ressaltar que nem todas as organizações que implementarem a tecnologia *Blockchain* perceberão mudanças tangíveis ou ganhos imediatos. A Gartner (2018) prevê que até 2022, apenas 10% das empresas alcançarão uma transformação radical por meio do uso de *Blockchain*.

Embora as consultorias apresentem projeções otimistas em relação à *Blockchain*, é importante mencionar que um estudo conduzido por Hackius e Petersen (2017) revela divergências de perspectivas entre profissionais de logística, consultores e cientistas sobre os benefícios e obstáculos da adoção de *Blockchain*. Enquanto consultores e cientistas estão preocupados com a maturidade tecnológica da *Blockchain*, gestores logísticos enfrentam desafios ao tentar compreender os benefícios e casos de uso específicos. As preocupações com custos, orçamento e comprovação da aplicabilidade prática são obstáculos reais na decisão de implementar *Blockchain*.

Embora as projeções indiquem que a *Blockchain* pode gerar valor econômico significativo a longo prazo, especialmente quando a tecnologia amadurecer e modelos de negócios mais sólidos surgirem, é fundamental que as organizações adotem abordagens estratégicas e realistas ao considerar sua implementação. A *Blockchain* não é uma solução universal para todos os desafios das cadeias de suprimentos, e sua aplicação deve ser cuidadosamente avaliada em relação aos objetivos e necessidades específicas de cada organização.

A adoção de Blockchain nas cadeias de suprimentos apresenta um potencial significativo para melhorar a eficiência e a transparência. No entanto, é uma decisão estratégica que deve ser tomada com base em casos de Grant (2013), Hackius e Petersen (2017); Forrester (2018), Accenture (2018), Capgemini (2018), Deloitte (2018), Gartner (2018), Cândido (2023).

3 METODOLOGIA

Nesta pesquisa qualitativa, adotamos a análise temática como técnica de análise de dados, seguindo as orientações de YIN (2016). Esta abordagem, embora

compartilhe semelhanças com outras técnicas qualitativas no que diz respeito à codificação e manipulação dos dados, se destaca por sua capacidade de identificar e analisar padrões emergentes, ou seja, temas, de forma mais ampla. Isso contrasta com a análise de conteúdo, que é mais profunda, e a *grounded theory*, que requer estruturas teóricas prévias (Corbin; Strauss, 2014).

O cerne dessa pesquisa recai sobre a investigação de *startups* que possuem base tecnológica no setor de reciclagem e gestão de resíduos. O estudo incluiu entrevistas realizadas com gerentes de oito das 21 startups selecionadas, entre os meses de maio e agosto de 2023. Utilizamos tanto meios eletrônicos para as entrevistas para os gerentes, quanto visitas presenciais a três usinas de reciclagem de gestão de resíduos. A escolha da abordagem de estudo de caso se justifica devido à necessidade de realizar análises detalhadas das questões de pesquisa, as quais exploram o "como" e o "porquê" dos eventos. Além disso, os estudos de caso têm uma notável capacidade de examinar situações complexas e de vida real, nas quais as fronteiras entre o fenômeno de interesse e seu contexto circundante são frequentemente difusas (YIN, 2016). Isso confere à pesquisa um grau de confiabilidade dos dados, como sugerido por Arkin e Colton (1971).

A seleção das *startups* para o estudo foi conduzida por meio de pesquisas na plataforma *Startuptracker*. Nesse processo, avaliamos a qualidade das informações disponíveis e utilizamos palavras-chave relacionadas à economia circular, reciclagem e gerenciamento de resíduos. A etapa de seleção compreendeu uma análise preliminar dos *websites*, avaliação dos modelos de negócio e da confiabilidade das operações de cada empresa no setor. Além disso, procuramos documentos, como notícias, entrevistas e relatórios, para fornecer uma base sólida para a coleta de dados.

A decisão de conduzir múltiplos estudos de caso se alinha com a abordagem de Yin (2016) e visa a ampliação das possibilidades de replicação teórica e generalização, permitindo a análise e comparação dos resultados entre os casos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo se concentra em um caso prático que envolve a aplicação conjunta da tecnologia *Blockchain* e da Internet das Coisas (*IoT*) com o

gerenciamento de *startups*, voltada para a gestão de resíduos e reciclagem. O principal objetivo desta investigação foi analisar como essas tecnologias podem aprimorar a rastreabilidade na cadeia de suprimentos, considerando cuidadosamente tanto seus benefícios quanto os desafios inerentes à sua implementação.

O contexto em que essas *startups* surgiram, é fundamental para entender os motivos que a levaram à sua criação. Os baixos índices de reciclagem no Brasil, que resultam em uma maior utilização de aterros sanitários, foram identificados como um dos principais desencadeadores. Além disso, as condições adversas enfrentadas pelos recicladores que atuam nesses aterros também se destacaram como um motivador significativo.

Com base nesses motivadores, as *startups* estabeleceram como objetivo central aumentar as taxas de reciclagem de embalagens. Para atingir esse objetivo, a empresa adotou práticas que incluem a remuneração justa dos coletores, juntamente com treinamento e capacitação para o manuseio adequado dos resíduos. Além disso, a empresa adota práticas sustentáveis, como a coleta de resíduos com o uso de triciclos, visando reduzir as emissões de dióxido de carbono e tornar o processo mais eficiente e ecologicamente sustentável.

A empresa utiliza o conceito de mineração urbana verde, que envolve a obtenção de resíduos provenientes do pós-consumo em ambientes urbanos, conforme destacado por Giese *et al.* (2021). Para efetuar essa prática, a empresa realiza a logística reversa de embalagens, coletando-as em bares e restaurantes. Para que esse processo seja caracterizado como logística reversa, é imperativo que a empresa possa garantir que os materiais coletados realmente tenham origem no pós-consumo, conforme mencionado por Biazzi (2022). Isso requer a conformidade estrita com regulamentações e normas.

Para garantir a rastreabilidade ao longo de toda a cadeia, a empresa implementou a tecnologia *Blockchain* e desenvolveu uma solução baseada na *IoT* para roteirização dos coletores. Isso envolve o uso de dispositivos de georreferenciamento acoplados aos veículos de coleta. Essas tecnologias combinadas permitem a rastreabilidade em tempo real, desde a origem do resíduo até sua destinação final. Elas tornam todas as etapas da operação visíveis, incluindo

o tipo de material coletado, quantidade, responsável pela coleta, trajeto percorrido e destino final.

Durante o processo, os resíduos coletados são pesados e seus registros são imutavelmente armazenados na *Blockchain*. Isso proporciona à empresa confiabilidade, segurança e transparência em toda a operação.

A integração da *IoT* com a *Blockchain* também permite à empresa comprovar o processo e caracterizar a logística reversa. Através dos dados registrados na *Blockchain* durante as etapas da cadeia, a empresa gera certificados e documentações necessários, utilizando conforme apontado por Vasan *et al.* (2022), as *NFTs* (*Token Não Fungível*), que são tokens criptografados em uma rede *Blockchain* que representam a propriedade de seu autor e são registradas em um *ledger*, permitindo que os detentores exerçam direitos e benefícios relacionados à sua posse.

Além disso, a *Blockchain* também é empregada para o controle de estoque da empresa, que utiliza centrais de armazenamento chamadas "*Hubs*" para estocar os resíduos antes de sua destinação às usinas de reciclagem. A movimentação entre esses "*Hubs*" é registrada na *Blockchain*, garantindo a rastreabilidade e segurança. Ao implementar os *Smart Contracts* (Contratos Inteligentes) com o objetivo de automatizar validações na *Blockchain*, a *startup* enfrentou desafios de integração com *stakeholders*, devido às restrições em servidores de clientes. Isso ilustra as complexidades relacionadas à descentralização dos dados, o que torna a validação dos *Smart Contracts* um processo complexo.

Os entrevistados destacaram que a falta de conhecimento sobre a *Blockchain* e a dificuldade de operacionalização da tecnologia são desafios enfrentados. No entanto, eles ressaltam que a introdução das *NFTs* tornou a tecnologia mais acessível e próxima dos usuários, facilitando sua adoção.

Quanto ao consumo de energia, os entrevistados mencionam que esse aspecto tem evoluído positivamente com o desenvolvimento de novos algoritmos de consenso, como o *Proof of Stake*, que é um protocolo de consenso usado em *criptomoedas* e *Blockchains* para validar transações e criar novos blocos com base na quantidade de moeda que os validadores possuem e "travam" como garantia. Isso torna o *PoS* mais eficiente em termos de energia e escalável. Os validadores

são recompensados com taxas de transação e, às vezes, novas moedas, enquanto a segurança é mantida por meio de penalizações para comportamento desonesto, que consomem menos energia, reduzindo os custos associados à tecnologia.

A pesquisa teve como objetivo geral investigar como a aplicação da *Blockchain* e da *IoT* pode aprimorar a rastreabilidade na cadeia de suprimentos. Três construtos foram identificados: rastreabilidade, benefícios e desafios. A análise das proposições de pesquisa revelou que a associação da *Blockchain* com a *IoT* melhorou o desempenho relacionado ao rastreamento em tempo real e à verificação de falhas, contribuindo para o aumento da confiança entre as partes interessadas.

No que diz respeito aos benefícios, a rastreabilidade proporciona maior transparência e imutabilidade aos dados da cadeia de abastecimento, aumentando a confiança entre as partes interessadas. Entretanto, foram identificados desafios relacionados à falta de conhecimento, integração de partes e infraestrutura limitada, embora os desafios de segurança e consumo de energia não tenham se mostrado significativos.

Portanto, este estudo de caso destaca a eficácia da combinação de *Blockchain* e *IoT* na melhoria da rastreabilidade na cadeia de suprimentos, enfatizando os benefícios e desafios associados a essa implementação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo geral investigar a aplicação da tecnologia *Blockchain* na cadeia de suprimentos, com ênfase na rastreabilidade. Através do estudo de caso realizado, foi possível identificar que as *startups* em questão conseguiram aprimorar significativamente sua rastreabilidade, graças à combinação da *Blockchain* e da Internet das Coisas (*IoT*). Essa abordagem proporcionou à empresa maior confiabilidade em suas operações, permitindo a verificação eficaz dos processos e garantindo a conformidade com as normas estabelecidas.

Além disso, a rastreabilidade proporcionou maior transparência na cadeia de suprimentos da empresa, o que teve impactos positivos na gestão da cadeia e na confiança entre os *stakeholders* envolvidos. No entanto, alguns desafios foram identificados no contexto analisado. A falta de conhecimento e as limitações em

termos de infraestrutura dificultaram a integração de todas as partes da cadeia de suprimentos e, em alguns casos, impediram a utilização de recursos da tecnologia, como as validações por meio de *Smart Contracts*.

É importante observar que a literatura também menciona desafios relacionados aos altos custos e ao consumo de energia como barreiras para a adoção da tecnologia *Blockchain*. No entanto, no contexto das empresas analisadas, esses desafios não foram observados, uma vez que o surgimento de novos algoritmos de consenso contribuiu para a redução tanto dos custos quanto do consumo de energia.

É válido ressaltar que esta pesquisa se limitou a investigar o caso de 8 *startups*, em um universo de 21 elegíveis e sua cadeia de suprimentos, que se estende desde os geradores de resíduos até a destinação final. Portanto, todas as análises e conclusões são específicas dessa empresa. Futuros estudos podem explorar a aplicação da tecnologia e a rastreabilidade em outras empresas e contextos, abordando todos os participantes da cadeia de suprimentos, o que proporcionaria uma compreensão mais abrangente.

Apesar do aumento no número de publicações relacionadas à *Blockchain* e *IoT*, o entendimento sobre a aplicação dessas tecnologias na cadeia de suprimentos ainda não estava totalmente claro. Nesse contexto, este estudo contribui para o avanço da teoria ao destacar os principais aspectos a serem considerados ao adotar a *Blockchain*. A análise dos desafios e benefícios em um caso real aprofunda o entendimento sobre como essa nova tecnologia é percebida pelas empresas.

Do ponto de vista prático, esta pesquisa demonstrou a aplicação e operacionalização da *Blockchain* combinada com a *IoT* na cadeia de suprimentos, bem como seus principais benefícios para a operação e melhoria de processos. Isso oferece aos gestores informações valiosas que podem ser utilizadas na implementação dessas tecnologias em suas próprias organizações.

Como sugestão para pesquisas futuras, propõe-se a análise de todos os participantes da cadeia de suprimentos, bem como a comparação dos resultados entre diferentes casos, o que permitiria uma visão mais abrangente e aprofundada dos impactos da *Blockchain* e da *IoT* na gestão da cadeia de suprimentos.

REFERÊNCIAS

ABED, S. *et al.* An analysis and evaluation of lightweight hash functions for blockchain-based IoT devices. **Cluster computing**, v. 24, n. 4, p. 3065–3084, 2021.

ABEYRATNE, S.; MONFARED, R. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, London, pp. 1-10, 2016

ACCENTURE. 2018. **Improving the way the world works and lives**. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/pdf/accenture/redesign-assets/dotcom/documents/global/1/Accenture-Corporate-Citizenship-Report-2018.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

ALAGUMALAI, A. *et al.* Machine learning in biohydrogen production: a review. **Biofuel Research Journal**, v. 10, n. 2, p. 1844-1858, 2023.

ALMADA, P. E. R.; COSTA, E. S. Controle e vigilância no capitalismo digital: uma análise da tecnologia blockchain e sua implementação empresarial. **Cadernos EBAPE. BR**, v. 21, p. e2022-0020, 2023.

ARKIN, H.; COLTON, R. R. **Tables for Statisticians**. 2. ed. Nova York: Barnes & Noble. 1971.

ASLAM, Javed *et al.* Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 6, n. 2, p. 124-134, 2021.

AZIM, M. I. *et al.* Peer-to-peer kilowatt and negawatt trading: A review of challenges and recent advances in distribution networks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 169, n. 112908, p. 112908, 2022.

BIAZZI, L. F. S. **Logística reversa: o que é realmente e como é gerenciada**. São Paulo: USP, 2002.

BURITE, Alexsandro Souza; SACRAMENTO, Ana Rita Silva; RAUPP, Fabiano Maury. Possíveis Implicações da Aplicação Combinada da Blockchain, Smart Contract e Inteligência Artificial nas Contratações e no Orçamento Público. **Revista da CGU**, v. 15, n. 27, 2023.

CAI, Carrie J. *et al.* "Hello AI": uncovering the onboarding needs of medical practitioners for human-AI collaborative decision-making. **Proceedings of the ACM on Human-computer Interaction**, v. 3, n. CSCW, p. 1-24, 2019.

CÂNDIDO, Gustavo. **Cadeia de suprimentos e processos**. São Paulo: Editora Senac, 2023.

CAPGEMINI CONSULTING. 2017. Disponível em: https://www.capgemini.com/consulting-de/wp-content/uploads/sites/32/2017/08/cc_agile_organization_pov_20170508.pdf. Acesso em: 19 set. 2023.

CAPGEMINI CONSULTING. 2018. Disponível em: <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/06/Capgemini-World-Wealth-Report.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

CHANG, C. H.; LAI, P. L. An evaluation of logistics policy enablers between Taiwan and the UK. **Maritime business review**, v. 2, n. 1, p. 2–20, 2017.

CORBIN, J.; STRAUSS, A. **Basics of qualitative research**. 4 ed. Nova Deli, India: SAGE, 2014.

CRUZ, T. **Sistemas de Informações Gerenciais e Operacionais - Tecnologias da Informação e as Organizações do Século 21**. 5 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.

DE VRIES, Alex. Cryptocurrencies on the road to sustainability: Ethereum paving the way for Bitcoin. **Patterns**, v. 4, n. 1, 2023.

DELOITTE. 2018. A new mindset for action 2018 Global Impact Report. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/About-Deloitte/deloitte-2018-global-impact-report.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

DEWAN, A.; PETTERSSON, H.; CROKER, N. **As governments fumbled their coronavirus response, these four got it right**. Here's how. CNN, 2020.

ENGELMANN, Wilson; CANTALI, Fernanda Borghetti; SIMÕES, Isabelle de Zorzi Maya. Smart contracts: Uso da tecnologia blockchain para garantia da eficácia dos acordos celebrados. **Revista Direito em Debate**, v. 32, n. 59, p. e10488-e10488, 2023.

FORRESTER. 2018. **Emerging Technology Projection: The Total Economic Impact™ Of IBM Blockchain**. Projected Cost Savings and Business Benefits Enabled By IBM Blockchain. Disponível em: <https://tools.totaleconomicimpact.com/go/ibm/blockchainTEI/>. Acesso em: 19 set. 2023.

GAI, R. *et al.* A summary of the research on the foundation and application of blockchain technology. **Journal of physics. Conference series**, v. 1693, n. 1, p. 012025, 2020.

GAO, S.; MISHNE, G.; SCHEINOST, D. Poincaré embedding reveals edge-based functional networks of the brain. *In: MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER ASSISTED INTERVENTION – MICCAI 2020*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 448–457.

GARTNER SURVEY REVEALS THE SCARCITY OF CURRENT BLOCKCHAIN DEPLOYMENTS. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-05-03-gartner-survey-reveals-the-scarcity-of-current-blockchain-developments>. Acesso em: 19 set. 2023.

GIESE, E. C. *et al.* **Cooperativas e a gestão de resíduos eletroeletrônicos**. [s.l.] CETEM/MCTI, 2021.

GRANT, D. **Gestão de logística e cadeia de suprimentos**. Saraiva Educação SA, 2013.

GUAN, W.-J. *et al.* Clinical characteristics of Coronavirus disease 2019 in China. **The New England journal of medicine**, v. 382, n. 18, p. 1708–1720, 2020.

HACKIUS, N; PETERSEN, M. **Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?**. *In*: PROCEEDINGS OF THE HAMBURG INTERNATIONAL CONFERENCE OF LOGISTICS (HICL), epubli, 2017. p. 3-18.

HUO, R. *et al.* A comprehensive survey on blockchain in industrial internet of things: Motivations, research progresses, and future challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 24, n. 1, p. 88–122, 2022.

ITO, J.; NARULA, N.; ALI, R. The blockchain will do to the financial system what the internet did to media. **Harvard business review**, 2017.

JOÃO, B. N. Blockchain e o Potencial de Novos Negócios: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *In*: Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Curitiba, Anais [...], Curitiba, EnANPAD, 2018.

KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, p. 1-19, 2019.

KOTSIPOULOS, Thanasis *et al.* Machine learning and deep learning in smart manufacturing: The smart grid paradigm. **Computer Science Review**, v. 40, p. 100341, 2021.

LATIF, R. M. A. *et al.* Retail level Blockchain transformation for product supply chain using truffle development platform. **Cluster computing**, v. 24, n. 1, p. 1–16, 2021.

LI, Meng *et al.* Blockchain-enabled secure energy trading with verifiable fairness in industrial Internet of Things. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 16, n. 10, p. 6564-6574, 2020.

LIMA, M. I. A; SANTOS, D. L; BEZERRA, T. M. O; SILVA, A. P. S; PEDROSA, L. B; SANTOS, G. L. S; PADOVAM, I. S. “Cara a cara com a célula”: o jogo como agente

facilitador na aprendizagem de citologia. *In*: CONGRESSO NORDESTINO DE BIÓLOGOS, v. 6, Anais [...], Congrebio, 2016.

LIU, A. *et al.* Blockchain-based customization towards decentralized consensus on product requirement, quality, and price. **Manufacturing letters**, v. 27, p. 18–25, 2021.

LU, W.; WU, L.; XUE, F. Blockchain technology for projects: A multicriteria decision matrix. **Project management journal**, v. 53, n. 1, p. 84–99, 2022.

MELOTTI, L. M. D. *et al.* Utilização do Sistema Blockchain e sua Rastreabilidade no Agronegócio. **Cadernos de Prospecção**, v. 16, n. 5, p. 1543-1554, 2023.

MORRIS, N. **KPMG**: US 2018 blockchain venture capital investment \$858m. Disponível em: <https://www.ledgerinsights.com/kpmg-2018-blockchain-venture-capital-investment/>. Acesso em: 19 set. 2023.

MOZUMDER, Md Ariful Islam *et al.* Overview: Technology roadmap of the future trend of metaverse based on IoT, blockchain, AI technique, and medical domain metaverse activity. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICACT), 24., 2022, IEEE, 2022. p. 256-261.

NYLAND, J. J. A. O. L.; BADEJO, M. S.; CORRÊA, R. G. F. Blockchain application for traceability and olive oil production in Brazil. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 8, 2023.

OLIVEIRA, E.; FREITAS, A. Os porquês da tecnologia blockchain ainda não ter sido popularizada: um ensaio teórico. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 332–343, 2020.

PAIVA GOMES, D.; PAIVA GOMES, E.; CONRADO, P. C. **Criptoativos, Tokenização, Blockchain e Metaverso**. 1 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2022.

PANCARI, S. *et al.* A Systematic Comparison between the Ethereum and Hyperledger Fabric Blockchain Platforms for Attribute-Based Access Control in Smart Home IoT Environments. **Sensors**, v. 23, n. 16, p. 7046, 2023.

QI, W.; YAN, Y.; GONG, Y.; LIU, D.; DUAN, N.; CHEN, J.; ZHANG, R.; ZHOU, M. **Prophetnet**: Predicting future n-gram for sequence-to-sequence pre-training. arXiv preprint arXiv:2001.04063, 2020.

RAHMAN, A. *et al.* Smartblock-sdn: An optimized blockchain-sdn framework for resource management in iot. **IEEE Access**, v. 9, p. 28361–28376, 2021.

RAHMAN, Md Shafiu *et al.* A survey of blockchain-based IoT eHealthcare: Applications, research issues, and challenges. **Internet of Things**, v. 19, p. 100551, 2022.

REJEB, A. *et al.* The Internet of Things and the circular economy: A systematic literature review and research agenda. **Journal of cleaner production**, v. 350, n. 131439, p. 131439, 2022.

SWAN, M. **Blockchain**: Blueprint for a new economy. Bombaim, India: Shroff Publishers & Distributors, 2015.

TIAN, Y. *et al.* **The future of blockchain**-enabled tokenization in infrastructure investment and development: A Delphi-based scenario analysis. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2208/2208.04710.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

VASAN, K.; JANOSOV, M.; BARABÁSI, A.-L. Quantifying NFT-driven networks in crypto art. **Scientific reports**, v. 12, n. 1, 2022.

WANG, Y. Designing a blockchain enabled supply chain. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 6–11, 2019.

XU, B. *et al.* Automated cattle counting using Mask R-CNN in quadcopter vision system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 171, n. 105300, p. 105300, 2020.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa do Início ao Fim**. 1 ed. Porto Alegre: Penso, 2016.

YU, T.; HUANG, J.; CHANG, Q. Optimizing task scheduling in human-robot collaboration with deep multi-agent reinforcement learning. **Journal of manufacturing systems**, v. 60, p. 487–499, 2021.

YUAN, R. *et al.* Shadow Eth: Private smart contract on public blockchain. **Journal of computer science and technology**, v. 33, n. 3, p. 542–556, 2018.

ZHANG, Yuanyuan *et al.* On the market efficiency and liquidity of high-frequency cryptocurrencies in a bull and bear market. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 13, n. 1, p. 8, 2020.

Autores

Fernando Rodrigo Souza

Engenheiro de Produção formado pelo Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio, Tecnólogo em: Polímeros, Logística e Gestão da Qualidade, obtidas na Fatec-Sorocaba e Gestão Empresarial obtida na Fatec-Itu. Especialização em Engenharia da Qualidade Integrada e Especialização em Lean Manufacturing pela Anhanguera-Sorocaba. MBA em Lean Seis Sigma e Excelência Operacional, MBA em Gestão da Qualidade e Processos e MBA em Gestão Industrial pela FM2S em parceira UMJ - Centro Universitário Mario Pontes Jucá. Master Black Belt, Auditor Líder 9001:2015. Experiência profissional na área de Qualidade Assegurada na Edscha Brasil, Schaeffler Brasil e Saturnia Hawker. Pesquisa nas áreas de reciclagem de materiais, logística reversa, sustentabilidade, economia circular e na

interação entre o processo de fabricação, consumo e descarte, especialmente no contexto do pós-consumo.



Artigo recebido em: 25/09/2023 e aceito para publicação em: 06/11/2023
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i3.5016>